اقتصاد کشاورزی/ جلد 5/ شماره‌ي 3/ صفحه‌هاي 228-209

بررسی اثر بارندگی بر الگوی کشت و درآمد ناخالص کل در محدوده‌ی شبکه‌ي آبیاری سمت راست سد انحرافی نکوآباد

محمود صبوحی صابونی و مصطفی مردانی *

تاریخ دریافت: 1389/08/27 تاریخ پذیرش: 1390/07/08

چکیده

یکی از عوامل محدودکننده‌ي توسعه‌ی بخش کشاورزی آب در دست‌رس است که با میزان بارندگی هم‌بستگی شدیدی دارد. در نظرگرفتن بارندگی به عنوان یکی از عوامل مهم عدم حتمیت در تعیین الگوی بهینه کشت، از مواردی است که مورد غفلت قرار گرفته است. در مطالعه‌ی حاضر، تاثیر عامل بارندگی بر الگوی بهینه‌ی کشت و درآمد ناخالص کل در شبکه‌ی آبیاری سمت راست سد انحرافی نکوآباد واقع در استان اصفهان بررسی شد. مدل مورد استفاده، مدل بهینه‌سازي با عواملی کنترل کننده‌ی میزان محافظه‌کاری بود. داده‌های مورد نیاز مطالعه از سازمان جهاد کشاورزی و شرکت میراب زاینده‌رود استان اصفهان برای سال کشاورزی 1388 گرفته شد. یافته‌ها نشان داد که عامل بارندگی بر سطح زیرکشت و درآمد ناخالص کل تاثیری مثبت دارد. در سطح احتمال انحراف هر محدودیت از کران خود به مقدار 0/1 (p=0/1) درآمد ناخالص کل از 197 به 233 میلیارد ریال و سطح زیرکشت از 7241 به 10726 هکتار افزایش می‌یابد. بنابراین، با توجه به نقش تاثیرگذار بارندگی بر تصمیم‌گیری کشاورزان در تعیین ترکیب محصولات کشاورزی، توصیه می‌شود به این عامل در سطح سیاست‌گزاری بیش‌تر توجه شود.

طبقه‌بندي JEL: N5, C61 ,Q1

واژه‌های کلیدی: بارندگی، عدم حتمیت، الگوی بهینه‌ی کشت، شبکه‌ی آبیاری

* بترتیب دانشیار اقتصاد کشاورزی و دانش آموخته کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی دانشگاه زابل

Email: msabuhi39@yahoo.com mostafa.korg@yahoo.com

مقدمه

با افزایش جمعیت، تقاضا برای تولیدات کشاورزی روز به روز افزایش می‌یابد. یکی از راه‌های افزایش تولیدات کشاورزی افزودن سطح زیرکشت محصولات کشاورزی است. در این میان، مساله‌ی عدم حتمیت و خطرپذیری (ریسک) از نکات قابل توجهی است که بر درآمد کشاورزان و الگوی بهینه‌ی کشت انتخابی تاثیرگذار است (شارما و همکاران، 2007). در اواسط دهه‌ي 1990 مبحث ایجاد محافظه‌کاری (در مقابل عدم حتمیت) در مدل‌ها به وسیله‌ي محدود کردن عوامل نامطمئن مطرح شد (بن-تال و نمیرفسکی 1998، 1999، 2000، القواي و لبرت، 1997 و القوای و همکاران، 1998). چهارچوب محاسبات موجود در مدل‌هاي مطرح شده در این زمان درجه‌ی دوم مخروطی بود. همین امر موجب نوآوری یک روش بهینه‌سازي با عوامل تنظیم کننده‌ی میزان محافظه‌کاری (میزان عدم حتمیت) و یا بهینه‌سازي قوي (Robust optimization) شد (برتسیماس و سیم 2003، 2004). در این روش، بهینه‌سازي بر اساس دو اصل از اصول مدیریت کاربردی در شرایط عدم حتمیت توصیف می‌شود. اصل اول بیان‌گر آن است که پیش‌بینی‌هاي نقطه‌یی بی‌معنی است و باید با پیش‌بینی‌هاي دامنه‌یی جای‌گزین شود. اصل دوم آن است که مجموعه‌ی پیش‌بینی‌ها دقیق‌تر از تک‌تک آن‌ها است (ناهیماس، 2005، سیمچی-لوي، 2004 و شفی، 2005). نمونه‌های کاربردی متعددی از روش بهینه‌سازي با عواملی تنظیم کننده میزان محافظه‌کاری در زمینه‌های مسایل مدیریتی از جمله تئوری کوله‌پشتی (Portfolio Theorem) (برتسیماس و سیم 2004) و تئوري انبار (Inventory Theorem) (سیل، 2004) بازگو شده است. هم‌چونین در زمینه‌ی مدیریت منابع آب چانگ و همکاران (2009) یک سیستم عرضه‌ي آب در منطقه‌یی فرضی در شرایط عدم قطعیت طراحی کردند. آن‌ها برای اعمال شرایط عدم قطعیت در مدل، از بهینه‌سازی با عواملی تنظیم کننده‌ي میزان محافظه‌کاری استفاده کردند. نتایج نشان داد که با افزایش میزان محافظه‌کاری (کاهش احتمال انحراف هر محدودیت از کران خود) در مدل، هزینه‌های مربوط به طرح افزایش می‌یابد.

برای بهینه‌سازی تخصیص زمین‌های قابل کشت در مناطق مختلف دنیا مطالعات فراوانی انجام پذیرفته است (ریویرا و همکاران 2008 و شارما و جانا 2009). در بسیاری از این مطالعات از مدل‌هاي برنامه‌ریزی آرمانی (الشیشینی، 1998 و اولیویرا و همکاران، 2003)، برنامه‌ریزی آرمانی فازی (بیسواس و پال، 2005)، برنامه‌ریزی چند هدفه (یه و لابادی، 2003) و یا برنامه‌ریزی چند هدفه‌ي فازي (زنگ و همکاران، 2010) استفاده شده است. سثی و همکاران (2006)، به بهینه‌سازی تخصیص منابع آب و الگوی‌کشت به صورت هم‌گام در منطقه‌ی بالاسور در کشور هند پرداختند. برای اتخاذ سیاست‌های بلندمدت برای مدیریت پایدار زمین‌های کشاورزی و منابع آب موجود در منطقه از دو نوع برنامه‌ریزی خطی با محدودیت‌های تصادفی و برنامه‌ریزی قطعی استفاده شد. چهار سناریوی متفاوت در سطوح ریسک 10، 20، 30 و 40% تعریف شد. نتایج نشان داد که با کاهش سطح ریسک از 90 به 60% ، سود خالص سالانه برای این منطقه از 812 به 910 میلیون روپیه افزایش می‌یابد. در ایران نیز مطالعاتی در زمینه‌ی تعیین الگوی بهینه‌ی کشت انجام پذیرفته است (صبوحی و الوانچی، 1387، چیذری و همکاران، 1384، کهنسال و زارع، 1387، شاه کرمی و همکاران، 1385 و صبوحی و سلطانی، 1387). در این مطالعات هر یک از محققان روش‌های متفاوتی را برای اعمال مخاطرات موجود در تولیدات کشاورزی و محاسبه‌ی خطرپذیری موجود در این بخش انتخاب کردند.

منطقه‌ي مورد نظر در مطالعه‌ی حاضر شبکه‌ی آبیاری سمت راست سد انحرافی نکوآباد است. این سد بر رودخانه‌ی زاینده‌رود در دهکده‌ی نکوآباد ساخته شده است که در فاصله 45 کیلومتری شهر اصفهان قرار دارد. در سمت راست این سد یک رشته کانال اصلی برای برداشت آب ساخته شده است، که در بیش‌ترین مقدار 15 مترمکعب در ثانیه آب برای آبیاری زمین‌هایی به وسعت 15000 هکتار در طرف راست زاینده‌رود تامین می‌کند (حسینی ابری، 1379). متوسط بارندگی در دراز مدت در حوضه‌ي آب‌ریز این رودخانه (حوضه‌ي آب‌ریز گاوخونی) سالانه 268 میلی‌متر است (شرکت مدیریت منابع آب ایران، 1388). هم‌چونین،

بیش‌ترین و کم‌ترین میزان بارندگی در ایستگاه اصفهان در یک دوره‌ي 103 ساله از سال 1273 تا 1375 به‌ترتیب 237 و 32 میلی‌متر بوده است (کاویانی و عساکره، 1384). با توجه به نوسانات شدید بارندگی در این حوضه، انتخاب منطقه‌ی مورد مطالعه برای بررسی تاثیر عامل بارندگی بر الگوی کشت و درآمد ناخالص کشاورزان منطقی به نظر می‌رسد.

در نظر گرفتن عامل بارندگی به عنوان یکی از عوامل مهم عدم حتمیت در مدل‌های تعیین الگوی کشت، موضوعی است که در مطالعات داخلی مورد بی‌توجهی بسیار قرار گرفته‌است. برای تعیین الگوی بهینه‌ی کشت در منطقه‌ی مورد مطالعه از مدل بهینه‌سازی با عواملی کنترل کننده‌ی میزان محافظه‌کاری استفاده شده است. هدف مطالعه مقایسه‌ی الگوهای بهینه‌ی کشت در شرایط عدم حتمیت و تاثیر عامل بارندگی بر تعیین این الگوی بهینه‌ی کشت است.

روش تحقیق

جدول (1) فهرستی از نشانه‌ها و شاخص‌های مورد استفاده در این مطالعه را برای تشریح مدل نشان می‌دهد.

جدول (1). فهرست نشانه‌ها

مجموعه‌ها:	$\tilde{W}_{s,i}$: متوسط مقدار آب موجود در ماه i از فصل s
j : مجموعه‌ي مربوط به محصول j ، $j \in \{1,2,...,J\}$	$\tilde{L}_s$: تعداد نیروی کار موجود در منطقه
s : مجموعه‌ي مربوط به فصل s ، $s \in \{1,2,...,S\}$	$\tilde{F}_{s,t}$: مقدار کل کود موجود، از نوع t
i : مجموعه‌ي مربوط به ماه i ، $i \in \{1,2,...,I\}$	$\tilde{M}_s$: تعداد ساعت کار ماشین‌آلات در دست‌رس در منطقه
t : مجموعه‌ی مربوط به نوع کود t ، $t \in \{1,2,...,T\}$	$\tilde{C}_s$: نقدینگی موجود برای تولید محصولات
z : مجموعه‌ي مربوط به نوع آفت‌کش z ، $z \in \{1,2,...,Z\}$	$\tilde{PE}_{s,z}$: مقدار آفت‌کش موجود از نوع z
عوامل:	متغیر تصمیم:
A : مقدار زمین در دست‌رس براي همه‌ي محصولات	$x_{s,j}$: سطح زیر کشت محصول j در فصل s
$w_{s,j}$: مقدار آب مورد نیاز برای تولید هر هکتار از محصول j در فصل s (متر مکعب / هکتار)	متغیرهاي مدل:

ادامه جدول (1)

l_j: مقدار نیروی کار مورد نیاز برای تولید هر هکتار از محصول j (نفر /هکتار)	Γ_i: عامل تنظیم‌کننده‌ی میزان محافظه‌کاری
$f_{t,j}$: مقدار کود مورد نیاز از نوع t برای تولید هر هکتار از محصول j (تن / هکتار)	$\tilde{\eta}_i$: متغیر تصادفی برای محدودیت i
c_j: هزینه‌ی تولید یک هکتار از محصول j	b_i: مقادیر سمت راست محدودیت i
m_j : تعداد ساعت کار ماشین‌آلات کشاورزی مورد نیاز برای تولید هر هکتار از محصول j	$\bar{g}_{ki}$: سطح بیش‌ترین تاثیر k منبع عدم قطعیت بر یک‌دیگر در محدودیت i
$pe_{z,j}$: مقدار آفت کش مورد نیاز از نوع z برای تولید هر هکتار از محصول j	ε: سطح عدم اطمینان معین
a_j: درآمد ناخالص تولید محصول j در یک هکتار	$\bar{a}_i$: مقدار اسمی داده‌ي نامطمئن در محدودیت i
داده‌های تصادفی:	$\hat{a}_i$: مقدار اسمی داده‌ي نامطمئن ضرب در سطح عدم اطمینان معین ($\bar{a}_i\varepsilon$)
$\tilde{P}_s$: میزان بارش در فصل s	$\tilde{a}_i$: مقدار تصادفی داده‌ي نامطمئن در محدودیت i

ماخذ: انتخاب نویسندگان

روش‌های متفاوتی برای لحاظ نمودن عدم قطعیت در مساله بیان شده است. می‌**توان برای** متغیرهای ناهمبسته، عوامل نامطمئن را به صورت اختلال‌های تصادفی بیان کرد (**بن-تال و** نمیرفسکی، 1999**و** 2000):

$$\tilde{a}_{ij} = \bar{a}_{ij} + \tilde{\eta}_{ij}\varepsilon\bar{a}_{ij} = \bar{a}_{ij} + \tilde{\eta}_{ij}\hat{a}_{ij} \qquad (1)$$

برای تنظیم میزان محافظه‌کاری، عامل Γ_i تعریف می‌شود که می‌تواند عدد حقیقی در دامنه‌ي $[0\ ,\ J_i]$ را **به آن نسبت داد**. در زیر، مدل (2) به صورت بهینه**سازی** با عوامل تنظیم کننده‌ي

میزان محافظه‌کاری نوشته شده است که باعث بهبود توانایی اعتماد به سیستم‌ها در شرایط عدم حتمیت می‌گردد (برتسیماس و سیم، 2004):

$$
\begin{aligned}
&\textit{Maximize} \quad cx \\
&\textit{subject to} \quad \sum_i \bar{a}_{ij} x_j + \max_{\{S_i \cup \{t_i\} \mid S_i \subseteq J_i, |S_i| = \lfloor \Gamma_i \rfloor, t_i \in J_i \setminus S_i\}} \left\{ \sum_{j \in S_i} \hat{a}_{ij} y_j + (\Gamma_i - \lfloor \Gamma_i \rfloor) \hat{a}_{it_i} y_t \right\} \le b_i, \qquad \forall i \\
&-y_j \le x_j \le y_j, \qquad \forall j \in J_j \\
&l \le X \le u, \\
&y \ge 0
\end{aligned}
\tag{2}
$$

که در آن برای هر j ، $y_j = |x_j^*|$. در مدل (2)، $\sum \bar{a}_{ij} x_j \le b_i$ معرف محدودیت iام در شرایط حتمیت است. هرگاه $\Gamma_i = 0$ باشد، جمله‌ی بیش‌ترین کننده از مدل حذف و محدودیت در شرایط عدم حتمیت به محدودیت در شرایط حتمیت تبدیل می‌گردد. هرگاه $\Gamma_i = |J_i|$ باشد، میزان حفاظت مدل در مقابل عدم حتمیت به بیش‌ترین خود می‌رسد و به‌طور کامل انجام می‌شود. در مدل (2) فرض بر این است که ضریب‌ها عوامل دارای عدم حتمیت مستقل است. با توجه به این که میان عوامل میزان بارندگی و مقدار آب موجود در ماه i از فصل s ارتباط وجود دارد و با افزایش میزان بارندگی این مقدار آب افزایش می‌یابد، این فرض در سیستم‌های عرضه‌ی آب منطقی به نظر نمی‌رسد. بنابراین، این روش برای متغیرهای تصادفی غیرمستقل نیز توسعه داده شد. فرض کنید که تعدادی از منابع عدم حتمیت بر سیستم تاثیر می‌گذارند. iامین محدودیت در این سیستم‌ها به صورت زیر تعریف می‌شود (برتسیماس و سیم 2004):

$$
\tilde{a}_{ij} = \bar{a}_{ij} + \sum_{k \in K_i} \tilde{\eta}_{ik} \bar{g}_{kj}, \qquad \forall j \in J_i \tag{3}
$$

$$\text{Maximize} \quad x$$

$$\text{subject to} \sum_i \tilde{a}_{ij} x_i + \max_{\{S_i \mid \{t_i\} \mid S_i \setminus k_i, |S_i| = \lceil \Gamma_i \rceil, t_i \setminus S_i\}} \left\{ \sum_{k \in S_i} \left| \sum_{j \in J_i} g_{kj} x_j \right| + (\Gamma_i - \lceil \Gamma_i \rceil) \left| \sum_{j \in J_i} g_{t_i j} x_j \right| \right\} \le b_i, \quad i \qquad (4)$$

$$l \le X \le u,$$

بنابراین، مدل بهینه‌سازی با عوامل تنظیم‌کننده‌ی میزان محافظه‌کاری را برای ضریب‌های نامطمئن هم‌بسته می‌توان به صورت زیر تعریف کرد (برتسیماس و سیم 2004)

هر دو مدل (2) و (4) به وسیله‌ی برنامه‌ریزی خطی قابل حل هستند و از پیچیدگی‌های به‌دست‌آمده در آن جلوگیری شده است (برتسیماس و سیم 2004). عوامل (Γ_i) ابزاری مناسب برای بررسی قدرتمند بودن سیستم در مقابل عوامل نامطمئن و یا ناتوانی آن در مقابل این عوامل است. برای عوامل Γ_i مقادیر متفاوتی وجود دارد و این به احتمال انحراف محدودیت iام از کران خود (p) و هم‌چونین به تعداد عوامل نامطمئن در آن محدودیت بستگی دارد. با جاگذاری x^* در معادله‌ی (3) به‌عنوان پاسخ بهینه، احتمال انحراف محدودیت iام از کران خود، به صورت زیر تعریف می‌شود (برتسیماس و سیم 2004):

$$pr\left(\sum_j \tilde{a}_{ij} x^*_j > b_i \right) \le B(n, \Gamma_i) \qquad (5)$$

برای محاسبه‌ی Γ_i، یک سطح مطلوب احتمال انحراف محدودیت i از کران آن محدودیت در نظرگرفته می‌شود و با توجه به تعداد عوامل نامطمئن (n) در آن محدودیت، عامل Γ_i محاسبه می‌شود. روش محاسبه‌ی این عامل به‌طور کامل توسط برتسیماس و سیم (2004) داده شده است.

تابع هدف در مطالعه‌ی حاضر بیش‌ترین کردن درآمد ناخالص کل است و به صورت زیر بیان می‌شود:

$$Maximize \qquad Z = \sum_i^j a_{s,j} x_{s,j}, \qquad \forall S \qquad (6)$$

که Z: درآمد ناخالص کل، $a_{s,j}$: **درآمد** ناخالص حاصل از تولید یک هکتار از محصول j که **در فصل** s تولید شده**است**، $x_{s,j}$: سطح زیر کشت محصول j **در فصل** s، **است. تعداد** 10 محصول که معمولا در منطقه‌ی مورد مطالعه بیش‌تر کشت می‌**شود در نظر گرفته شده است.** این محصولات و نشانه‌های مربوط به متغیر**های آن‌ها عبارت است از**: $x_{1,1}$: **گندم**، $x_{1,2}$: **جو**، $x_{2,4}$: **ذرت دانه**یی، $x_{1,3}$: پیاز $x_{2,5}$: سیب زمینی، $x_{2,6}$: **گوجه**فرنگی، $x_{2,7}$: **آفتاب‌گردان**، $x_{2,8}$: **چغندر قند**، $x_{2,9}$: کلزا، $x_{2,10}$: خیار. به‌علت وجود برخی از عوامل نامطمئن موجود در مدل-های تعیین الگوی بهینه‌ی کشت، عدم اطمینان در مورد این نوع عوامل جزو ذات مدل است. **عوامل نامطمئن مورد نظر در مدل مورد مطالعه عبارت است از**: میزان بارش در فصل s ($\tilde{P}_s$)، **مقدار متوسط آب موجود در ماه** i **از فصل** s ($\tilde{W}_{s,i}$)، مقدار نقدینگی موجود در منطقه برای تولید محصولات در فصل s ($\tilde{C}_s$)، تعداد نیروی کار موجود در منطقه در فصل s ($\tilde{L}_s$)، تعداد ساعت کار ماشین**آلات موجود در منطقه در فصل** s ($\tilde{M}_s$)، مقدار کود موجود از نوع t **در فصل** s ($\tilde{F}_{s,t}$) **و مقدار آفت**کش موجود از نوع z **در فصل** s ($P\tilde{E}_{s,z}$). **با استفاده از معادله‌ي** (1) می‌توان شکل تصادفی این عوامل را به صورت زیر نوشت:

$$\tilde{P}_s = \bar{P}_s + \tilde{\eta}_1 \hat{P}_s \quad (7)$$

$$\tilde{W}_{s,i} = \bar{W}_{s,i} + \tilde{\eta}_{s,i} \hat{W}_{s,i} \quad (8)$$

$$\tilde{L}_s = \bar{L}_s + \tilde{\eta}_2 \hat{L}_s \quad (9)$$

$$\tilde{M}_s = \bar{M}_s + \tilde{\eta}_3 \hat{M}_s \quad (10)$$

$$\tilde{C}_s = \bar{C}_s + \tilde{\eta}_4 \hat{C}_s \quad (11)$$

$$\tilde{F}_{s,t} = \bar{F}_{s,t} + \eta_{t+4} \hat{F}_{s,t} \quad (12)$$

$$P\tilde{E}_{s,z} = P\bar{E}_{s,z} + \tilde{\eta}_{z+8} P\hat{E}_{s,z} \quad (13)$$

معادله‌ي (7) مربوط به عامل نامطمئن بارندگی است که در آن $\tilde{P}_s$ مقدار کل بارندگی در فصل s، $\overline{P}_s$ میزان بارندگی اسمی در فصل s (متوسط بارندگی درازمدت) و $\hat{P}_s$ برابر با 10% میزان بارندگی اسمی ($\varepsilon = 0/1$) است. معادله‌ي (8) مربوط به عامل نامطمئن متوسط آب در دست‌رس است که در آن $\tilde{W}_{s,i}$ مقدار کل آب موجود در ماه i از فصل s، $\overline{W}_{s,i}$ مقدار اسمی $\tilde{W}_{s,i}$ و $\hat{W}_{s,i}$ برابر 10% میزان $\overline{W}_{s,i}$ است. معادله‌ي (9) تا (13) نیز به همین صورت تفسیر می‌شود. $\tilde{\eta}_1$، $\tilde{\eta}_{s,i}$، $\tilde{\eta}_3$، $\tilde{\eta}_4$، $\tilde{\eta}_{t+4}$ و $\tilde{\eta}_{z+8}$ متغیرهای تصادفی در فاصله [1,1-] است. با توجه به هدف اصلی مطالعه، محدودیت آب به دو صورت مجزا اعمال می‌شود: الف- محدودیت آب بدون در نظرگرفتن تاثیر عامل بارندگی در فصل s : در این محدودیت مجموع آب مصرف شده براي تمام محصولات در فصل s نباید از مجموع آب در دست‌رس در ماه i از فصل s بیش‌تر شود:

$$\sum_{j=1}^{J} w_{s,j} x_{s,j} \le \sum_{i=1}^{I} \tilde{W}_{s,i} \qquad (14)$$

آب در دست‌رس در ماه i از فصل s جزو عوامل نامطمئن است. پس در یک فصل شش عامل نامطمئن براي مقدار آب در دست‌رس وجود دارد. بنابراین، شکل تصادفی محدودیت (14) با توجه به معادله‌ي (8) براي فصل اول (از مهر تا اسفند) و فصل دوم (از اسفند تا شهریور) به‌ترتیب به صورت زیر است:

$$\sum_{j=1}^{J} w_{1,j} x_{1.j} \le \sum_{i=1}^{6} (\overline{w}_{1,i} + \tilde{\eta}_{1.i} \hat{w}_{1,i}) \qquad (15)$$

$$\sum_{j=1}^{J} w_{2,j} x_{2.j} \le \sum_{i=7}^{12} (\overline{w}_{2,i} + \tilde{\eta}_{2.i} \hat{w}_{2,i}) \qquad (16)$$

محدودیت‌های تصادفی (15) و (16) را می‌توان با تعریف عوامل $\Gamma_1 \ge 1$ و $\Gamma_2 \ge 1$ به صورت محدودیت با عوامل تنظیم‌کننده‌ی میزان محافظه‌کاری (مدل (2)) بازنویسی کرد:

$$\sum_{j=1}^{J} w_{1,i} x_{1,j} - \sum_{i=1}^{6} \overline{W}_{1,i} + (\Gamma_1 - 1) \sum_{i=1}^{6} \left| - \hat{W}_{1,i} \right| \le 0 \qquad (17)$$

$$\sum_{j=1}^{J} w_{2,i} x_{2,j} - \sum_{i=7}^{12} \overline{W}_{2,i} + (\Gamma_2 - 1) \sum_{i=7}^{12} \left| - \hat{W}_{2,i} \right| \le 0 \qquad (18)$$

و براي $\Gamma_1 < 1$ **و** $\Gamma_2 < 1$ به صورت زیر بازنویسی می**شود**:

$$\sum_{j=1}^{J} w_{1,i} x_{1,j} - \sum_{i=1}^{6} \overline{W}_{1,i} + (\Gamma_1 - 1) \sum_{i=1}^{6} \left| - \hat{W}_{1,i} \right| \le 0 \qquad (19)$$

$$\sum_{j=1}^{J} w_{2,i} x_{2,j} - \sum_{i=7}^{12} \overline{W}_{2,i} + (\Gamma_2 - 1) \sum_{i=7}^{12} \left| - \hat{W}_{2,i} \right| \le 0 \qquad (20)$$

به‌دلیل وجود شش عامل نامطمئن در هریک از محدودیت**هاي** (17) **تا** (20) **دو عامل** Γ_1 **و** Γ_2 **در فاصله‌ي** [0,6] قرار می‌گیرند. **ب**- محدودیت آب با در نظر گرفتن تاثیر عامل بارندگی در فصل s: **مقدار آب در دست**رس و میزان بارندگی جزو عوامل نامطمئن است. **هم**چونین، این دو عامل نسبت به هم غیر مستقل اند (با افزایش میزان بارندگی میزان آب در **دست‌رس در ماه** i **از فصل** s، افزایش می‌یابد). مزیت مدل بهینه‌سازی با عوامل کنترل کننده**‌ي** میزان محافظه‌کاری نسبت به دیگر مدل‌های اعمال کننده‌ی عدم حتمیت در این است که می‌توان اثر دو یا چند عامل هم‌بسته را در مدل بازگو کرد. علت انتخاب این مدل برای بهینه**سازي وجود هم**بستگی میان بارندگی و میزان آب در دست‌رس منابع تامین آب در مدل **مورد مطالعه است**. بنابراین، می**توان از معادله‌هاي** (7) **و** (8) برای تعیین محدودیت**هاي** تصادفی دو فصل استفاده کرد. این محدودیت‌ها به صورت زیر است:

$$\sum_{j=1}^{J} w_{1,j} x_{1,j} \le \sum_{i=1}^{6} (\overline{w}_{1,i} + \tilde{\eta}_{1,i} \hat{W}_{1,i}) + A(\underbrace{\overline{P}_1 + \tilde{\eta}_1 \hat{P}_1}_{\tilde{P}_1}) + A(\tilde{\eta}_1 \rho_1 \hat{P}_1) \qquad (21)$$

$$\sum_{j=1}^{J} w_{2,j} x_{1,j} \le \sum_{i=7}^{12} (\overline{w}_{2,i} + \tilde{\eta}_{1,i} \hat{W}_{1,i}) + A(\underbrace{\overline{P}_1 + \tilde{\eta}_1 \hat{P}_1}_{\tilde{P}_1}) + A(\tilde{\eta}_1 \rho_1 \hat{P}_1) \qquad (22)$$

در این معادله‌ها، A مربوط به سطح زیرکشت محصولات، و ρ_1 و ρ_2 به‌ترتیب ضریب هم‌بستگی میان میزان بارش و مقدار آب در دست‌رس ماه i در فصل‌هاي اول و دوم است. با تعریف عوامل $\Gamma_3 \geq 1$ و $\Gamma_4 \geq 1$، محدودیت‌هاي (21) و (22) به صورت محدودیت با عوامل تنظیم‌کننده‌ی میزان محافظه‌کاری (مدل (5)) بازنویسی می‌شود:

$$\sum_{j=1}^{J} w_{1,i} x_{1,j} - \sum_{i=1}^{6} \overline{W}_{1,i} - A\overline{P}_1 + \max\left\{\sum_{i=1}^{6} \hat{W}_{1,i} + (\Gamma_3 - 1)\left| - A\hat{P}_1(1+\rho_1)\right|; (\Gamma_3 - 1)\sum_{i=1}^{6} \hat{W}_{1,i} + \left| - A\hat{P}_1(1+\rho_1)\right|\right\} \leq 0 \qquad (23)$$

$$\sum_{j=1}^{J} w_{2,i} x_{2,j} - \sum_{i=7}^{12} \overline{W}_{2,i} - A\overline{P}_2 + \max\left\{\sum_{i=7}^{12} \hat{W}_{2,i} + (\Gamma_4 - 1)\left| - A\hat{P}_2(1+\rho_2)\right|; (\Gamma_4 - 1)\sum_{i=7}^{12} \hat{W}_{2,i} + \left| - A\hat{P}_2(1+\rho_2)\right|\right\} \leq 0 \qquad (24)$$

و براي $\Gamma_3 < 1$ و $\Gamma_4 < 1$ نیز به صورت زیر بازنویسی می‌شود:

$$\sum_{j=1}^{J} w_{1,i} x_{1,j} - \sum_{i=1}^{6} \overline{W}_{1,i} - A\overline{P}_1 + \max\left\{\Gamma_3 \sum_{i=1}^{6} \hat{W}_{1,i}; \Gamma_3\left| - A\hat{P}_1(1+\rho_1)\right|\right\} \leq 0 \qquad (25)$$

$$\sum_{j=1}^{J} w_{2,i} x_{2,j} - \sum_{i=7}^{12} \overline{W}_{2,i} - A\overline{P}_2 + \max\left\{\Gamma_4 \sum_{i=7}^{12} \hat{W}_{2,i}; \Gamma_4\left| - A\hat{P}_2(1+\rho_2)\right|\right\} \leq 0 \qquad (26)$$

به‌دلیل وجود هفت عامل نامطمئن (میزان بارش و مقدار آب در دست‌رس در هر ماه) در هر یک از این محدودیت‌ها، Γ_3 و Γ_4 در فاصله [0,7] قرار می‌گیرد. مجموع تعداد نیروی کار به‌کار گرفته شده برای تولید محصولات در هر فصل نباید از تعداد نیروی کار در دست‌رس در آن بیش‌تر شود:

$$\sum_{j=1}^{J} l_j x_{s,j} \leq \tilde{L}_s \quad \forall s \qquad (27)$$

شکل تصادفی محدودیت (27) طبق معادله‌ي (9) به صورت زیر است:

$$\sum_{j=1}^{J} l_j x_{s,j} \leq \tilde{L}_s + \tilde{\eta}_2 \hat{L}_s \quad \forall s \qquad (28)$$

محدودیت تصادفی (28) با تعریف عامل Γ_5 به صورت زیر بازنویسی می‌شود:

$$\sum_{j=1}^{J} l_j x_{s,j} - \overline{L} + \Gamma_5 \left| - \hat{L} \right| \le 0, \quad \forall s \qquad (29)$$
$$\Gamma_5 \in [0,1]$$

دیگر محدودیت‌هاي مورد استفاده در مطالعه‌ی حاضر نیز به همین ترتیب به محدودیت با عوامل کنترل کننده‌ی میزان محافظه‌کاری تبدیل می‌گردد. شکل نهایی این محدودیت‌ها به صورت زیر است:

$$\sum_{j=1}^{J} m_j x_{s,j} - \overline{M} + \Gamma_6 \left| - \hat{M} \right| \le 0, \quad \forall s \qquad (30)$$
$$\Gamma_7 \in [0,1]$$

$$\sum_{j=1}^{J} c_j x_{s,j} - \overline{C} + \Gamma_7 \left| - \hat{C} \right| \le 0, \quad \forall s \qquad (31)$$
$$\Gamma_7 \in [0,1]$$

$$\sum_{t=1}^{T} \sum_{j=1}^{J} f_{t,j} x_{s,j} - \sum_{j=1}^{J} \overline{F}_{t,j} + \Gamma_{t+7} \left| - \hat{F}_{t,j} \right| \le 0, \quad \forall s \qquad (32)$$
$$\Gamma_{t+7} \in [0,1]$$

$$\sum_{z=1}^{Z} \sum_{j=1}^{J} pe_{z,j} x_{s,j} - \sum_{j=1}^{J} P\overline{E}_{z,j} + \Gamma_{z+11} \left| - P\hat{E}_{z,j} \right| \le 0, \quad \forall s \qquad (33)$$
$$\Gamma_{z+11} \in [0,1]$$

محدودیت‌هاي (30)، (31)، (32) و (33) به‌ترتیب مربوط به ساعت‌های کار ماشین‌آلات، نقدینگی، کود و آفت‌کش است. محدودیت (32) با تعریف عوامل Γ_8، Γ_9، Γ_{10} و Γ_{11} به ترتیب برای چهار نوع کود پتاس، ازته، فسفاته و حیوانی و محدودیت تصادفی (33) با تعریف

عوامل Γ_{12}، Γ_{13} و Γ_{14} براي سه نوع آفتکش از جمله حشره‌کش، علف‌کش و قارچ‌کش است. محدودیت مربوط به زمین که جزو محدویت‌های نامطمئن نیست به صورت زیر است:

$$\sum_{j=1}^{J} x_{s,j} \le A \qquad (34)$$

تمامی داده‌های مورد نیاز مطالعه از جهاد کشاورزی و شرکت میراب زاینده‌رود استان اصفهان (شرکت بهره‌برداری و مدیریت شبکه‌هاي آبیاری استان اصفهان) برای سال کشاورزی 1388 گرفته شد.

نتایج و بحث

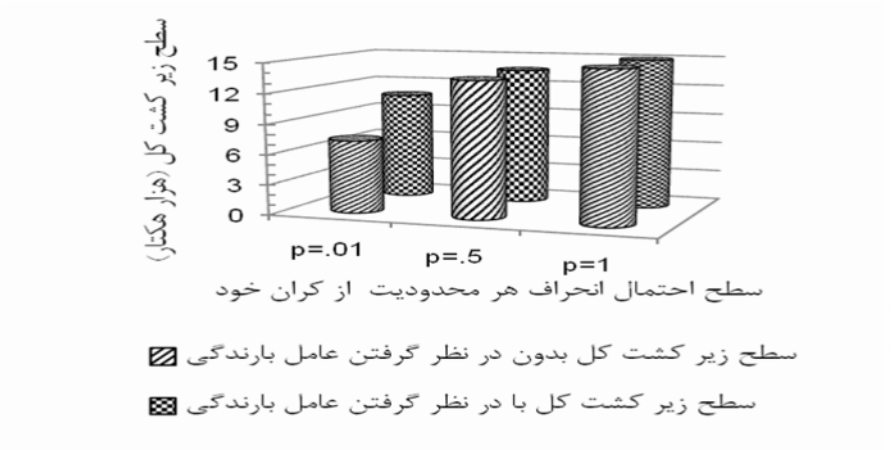
جدول (2) الگوی بهینه‌ی کشت این منطقه در سه موقعیت (شرایط قطعیت، شرایط عدم حتمیت با در نظر گرفتن تاثیر عامل بارندگی و شرایط عدم حتمیت بدون در نظر گرفتن تاثیر عامل بارندگی) را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در شرایط قطعیت ($\Gamma_i = 0$) محصولات گندم، جو، ذرت دانه‌یی، پیاز، سیب زمینی، گوجه فرنگی و آفتاب‌گردان در الگوی بهینه‌ي کشت قرار دارد. در شرایط عدم حتمیت بدون در نظر گرفتن تاثیر عامل بارندگی، با افزایش احتمال انحراف هر محدودیت از کران خودش (p)، سطح زیر کشت کل از 7241 هکتار به 14924 هکتار افزایش یافت. دلیل این امر کاهش مقدار عوامل تنظیم‌کننده‌ی میزان محافظه-کاری با افزایش p است. در شرایط عدم حتمیت با در نظر گرفتن تاثیر عامل بارندگی نیز با افزایش p کل، سطح زیرکشت از 10726 هکتار به 14964 هکتار افزایش یافته است. سه محصول چغندر قند، کلزا و خیار در هیچ یک از الگوهای بهینه‌ی کشت مشاهده نشد.

جدول (2). الگوی کشت بهینه برای زمین‌های سمت راست شبکه‌ی آبیاری سد انحرافی نکوآباد در سه موقعیت مختلف

محصول	متغیر	سطح زیر کشت (هکتار)						
		شرایط قطعیت	شرایط عدم حتمیت بدون در نظر گرفتن عامل بارندگی			شرایط عدم حتمیت با در نظر گرفتن عامل بارندگی		
			p=0/01	p=0/5	p=1	p=0/01	p=0/5	p=1
گندم	$x_{1,1}$	5047	-	6144	6047	1608	7536	8278
جو	$x_{1,2}$	3518	4025	3204	4518	5434	955	1290
ذرت دانه‌یی	$x_{2,4}$	429	-	343	429	427	-	34
پیاز	$x_{1,3}$	964	1501	822	964	1178	692	781
سیب زمینی	$x_{2,5}$	1176	1715	1527	1780	2079	1649	1625
گوجه فرنگی	$x_{2,6}$	239	-	286	239	-	515	541
آفتاب‌گردان	$x_{2,7}$	947	-	1193	947	-	2305	2415
چغندر قند	$x_{2,8}$	-	-	-	-	-	-	-
کلزا	$x_{2,9}$	-	-	-	-	-	-	-
خیار	$x_{2,10}$	-	-	-	-	-	-	-
کل		12320	7241	13519	14924	10726	13652	14964

ماخذ: یافته‌های تحقیق

نکته‌ی مهم در این جا مقایسه‌ی دو شرایط عدم حتمیت با یک‌دیگر است. ملاحظه می‌**شود** که در سطوح احتمال انحراف هر محدودیت از کران آن محدودیت (p) ثابت، کل سطح زیرکشت در شرایط در نظر گرفتن تاثیر عامل بارندگی بیش‌تر از کل سطح زیر کشت در شرایط بدون در نظر گرفتن تاثیر عامل بارندگی است. البته این شرایط در سطوح احتمال p پایین‌تر بیش**تر مشخص است**. **نگاره‌ي (1)** این موضوع را نشان می‌**دهد**.



شکل (1). سطح زیر کشت کل در دو شرایط عدم حتمیت با و بدون در نظر گرفتن تاثیر عامل بارندگی

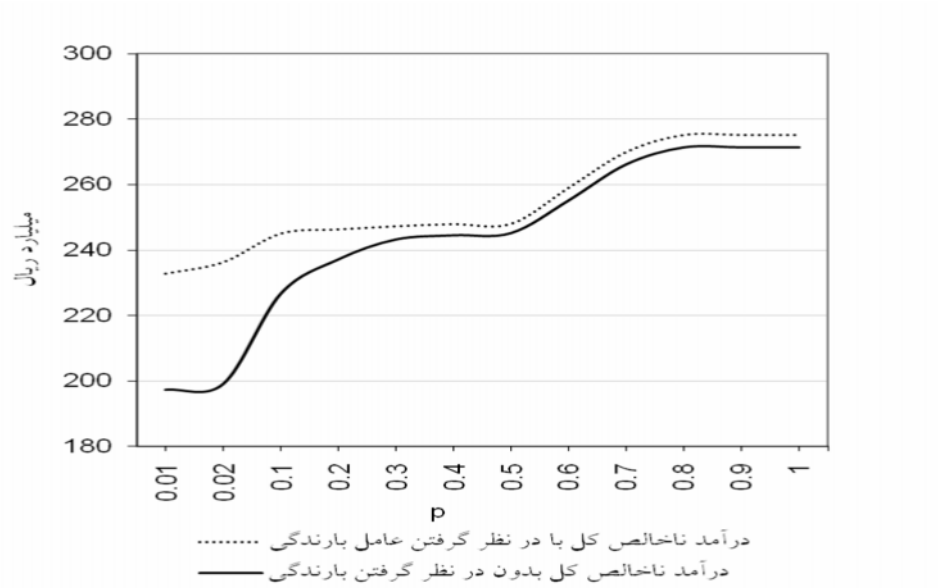
جدول (3) درآمد ناخالص کل و هزینه‌ی تولید کل مربوط به سه موقعیت مورد نظر با **سطوح مختلف** p را نشان می**دهد**. ملاحظه می‌شود که با افزایش p و به عبارت دیگر، کاهش مقدار عامل تنظیم‌کننده‌ی میزان محافظه‌کاری، درآمد ناخالص کل در هر دو شرایط عدم حتمیت با در نظر گرفتن و بدون در نظر گرفتن تاثیر عامل بارندگی افزایش یافته**است**. هزینه**ي** تولید کل نیز در این شرایط، به‌علت بالا رفتن سطح زیر کشت، افزایش یافته است.

جدول (3). درآمد ناخالص کل و هزینه‌ی تولید کل در سه موقعیت مختلف (میلیارد ریال)

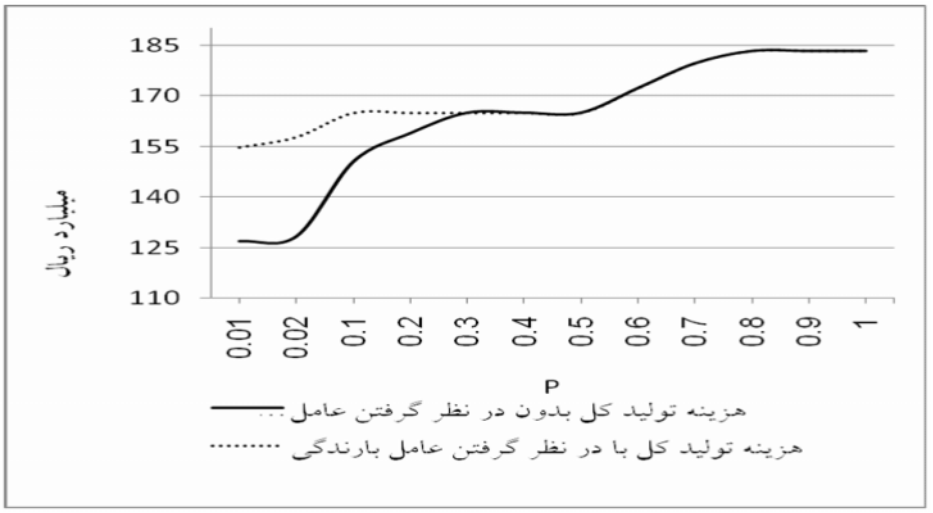
شرح	شرایط قطعیت	شرایط عدم حتمیت بدون در نظر گرفتن عامل بارندگی			شرایط عدم حتمیت با در نظر گرفتن عامل بارندگی		
		p=0/01	p=0/5	p=1	p=0/01	p=0/5	p=1
درآمد ناخالص کل	271	197	245	271	233	248	275
هزینه**ي** تولید کل	183	127	165	183	155	165	183

ماخذ: یافته‌های تحقیق

نگاره‌هاي (2) و (3) به‌ترتیب درآمد ناخالص کل و هزینه‌ی تولید کل در سطوح مختلف p در دو شرایط عدم حتمیت با و بدون در نظر گرفتن تاثیر عامل بارندگی را نشان می‌دهد. با توجه به نگاره‌ي (2) درآمد ناخالص کل با در نظر گرفتن تاثیر عامل بارندگی به مراتب بیش از درآمد ناخالص کل بدون در نظر گرفتن تاثیر عامل بارندگی است. در سطوح احتمال بالاتر از p=0/5 تفاوت میان این دو شرایط کاهش می‌یابد. نگاره‌ي (3) نشان می‌دهد که با افزایش سطح p تا p=0/3، هزینه‌ی تولید کل افزایش می‌یابد، و این هزینه در شرایط عدم حتمیت با در نظر گرفتن تاثیر عامل بارندگی بیش‌تر از شرایط عدم حتمیت بدون در نظر گرفتن تاثیر عامل بارندگی است. اما، از p=0/3 به بالا هر دو شرایط هزینه‌ی یک‌سانی داشته است (در نمودار دو خط هزینه بر هم منطبق شده است).



شکل (2). درآمد ناخالص کل در شرایط متفاوت با سطوح مختلف



شکل (3). هزینه‌ی تولید کل در شرایط متفاوت با سطوح مختلف

نتیجه‌گیری و پیش‌نهادها

کاربرد مدل بهینه‌سازی با عوامل تنظیم کننده‌ی میزان محافظه‌کاری باعث ایجاد گزینه‌های متفاوت اقتصادی برای تصمیم‌گیرندگان و سیاست‌گزاران کشاورزی می‌شود. در مطالعه‌ی حاضر به بررسی تاثیر عامل بارندگی بر الگوی کشت و درآمد ناخالص کل در شرایط عدم حتمیت برای شبکه‌ی آبیاری سمت راست سد انحرافی نکوآباد پرداخته شد. تعداد 10 متغیر تصمیم برای 10 محصول مورد مطالعه وجود داشت که در شرایط متفاوت برآورد گردید. نتایج نشان داد که در شرایط ثابت با افزایش احتمال انحراف هر محدودیت از کران خود (کاهش عدم حتمیت)، در آمد ناخالص کل افزایش می‌یابد. به عنوان مثال در شرایط عدم حتمیت بدون در نظر گرفتن عامل بارندگی با افزایش p از 0/01 به 1 مقدار درآمد ناخالص کل از 197 به 271 میلیارد ریال افزایش می‌یابد. این نتیجه با نتیجه‌ی مطالعه سثی و همکاران (2006) هم‌سان است که در آن با کاهش میزان خطرپذیری در مدل محدودیت تصادفی مقدار سود خالص در منطقه‌ی مطالعه‌ی آن‌ها افزایش یافت. هم‌چنین، مشاهده شد که با افزایش سطح p، مقدار

هزینه‌ی کل از 127 به 183 میلیارد ریال افزایش می‌یابد (هم‌سان با نتیجه‌ي مطالعه‌ي چانگ و همکاران، 2009). پیش‌نهاد می‌شود که با توجه به شرایط مختلف اقتصادی، سیاسی، اقلیمی و اجتماعی از گزینه‌های متفاوت الگوی بهینه‌ی کشت در شرایط عدم حتمیت استفاده شود. با بالا رفتن میزان عدم حتمیت در منطقه‌ی مطالعه می‌توان از الگوهای بهینه‌ی کشت با سطوح p پایین و به عبارت دیگر، از مقادیر بالای Γ (محافظه‌کاری بیش‌تر) استفاده نمود. با توجه به این که عامل بارندگی در درآمد ناخالص اثری مثبت را نشان می‌دهد، لحاظ نمودن تاثیر این عامل در تصمیم‌گیری برای طرح‌های کشاورزی این منطقه امری مهم به نظر می‌رسد.

منابع

پایگاه اطلاعاتی شرکت مدیریت منابع آب ایران، بخش مطالعات پایه‌ي منابع آب. (1388).

چیذری، ا.، شرزه‌اي، غ. و کرامت‌زاده، ع. (1384). تعیین ارزش اقتصادی آب با رهیافت برنامه‌ریزی آرمانی (مطالعه‌ي موردي: سد بارزو شیروان). تحقیقات اقتصادی، 71: 66-39.

حسینی ابری، س.ح. (1379). زاینده‌رود از سرچشمه تا مرداب. اصفهان، نشر گل‌ها.

شاه کرمی، ن.، مرید، س. و رحیمی جمانی، م. (1385). بهینه‌سازی الگوی کشت بر اساس مقادیر پیش‌بینی شده‌ی جریان رودخانه (مطالعه‌ي موردي رودخانه‌ی صوفی‌چای و شبکه‌ي آبیاری پایین دست). تحقیقات مهندسی کشاورزی، 39: 18-1.

صبوحی، م. و الوانچی، م. (1387). کاربرد برنامه‌ریزی چند منظوره و توافقی در برنامه‌ریزی کشاورزی: مطالعه‌ي موردي خراسان رضوي. مجله‌ی علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، 15: 132-112.

صبوحی، م. و سلطانی، غ. (1387). بهینه‌سازی الگوهای کشت در سطح حوضه‌ي آب‌ریز با تاکید بر منافع اجتماعی و واردات خالص آب مجازی: مطالعه‌ي موردي منطقه‌ي خراسان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، 43: 313-297.

کاویانی، م. و عساکره، ح. (1384). بررسی آماری روند بلند مدت بارش سالانه‌ي اصفهان. مجله‌ی پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم انسانی)، 18: 162-143.

کهنسال، م. و زارع، ع. (1387). تعیین الگوی بهینه‌ی کشت هم‌سو با کشاورزی پایدار با استفاده از برنامه‌ریزی فازی کسری با اهداف چندگانه. مطالعه‌ي موردي استان خراسان شمالی. اقتصاد کشاورزی و توسعه، 62: 33-1.

Ben-Tal, A. and Nemirovski, A. (1998). Robust convex optimization, *Journal of Mathematics of Operations Research*, 23(4):769-805.

Ben-Tal, A. and Nemirovski, A. (1999). Robust solutions to uncertain programs, *Journal of Operations Research Letters*, 25:1-13.

Ben-Tal, A. and Nemirovski, A. (2000). Robust solutions of linear programming problems contaminated with uncertain data, *Journal of Mathematical Programming*, 88: 411-424.

Bertsimas, D. and Sim, M. (2003). Robust discrete optimization and network flows, *Journal of Mathematical Programming*, 98:49-71.

Bertsimas, D. and Sim, M. (2004). The price of robustness, *Journal of Operations Research*, 52 (1): 35–53.

Biswas, A. and Pal, B.B. (2005). Application of fuzzy goal programming technique to land use planning in agricultural system, J*ournal of Omega*, 33(5): 391-398.

Chung, G., Lansey, K. and Bayraksan, G. (2009). Reliable water supply system design under uncertainty, *Journal of Environmental Modelling and Software*, 24(4): 449–462.

El-Ghaoui, L. and Lebret. H. (1997). Robust solutions to least-square problems to uncertain data matrices, SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications, 18:1035-1064.

El-Ghaoui, L., Oustry, F. and Lebret, H. (1998). Robust solutions to uncertain semidefnite programs, SIAM Journal on Optimization, 9: 33-52.

El-Shishiny, H. (1988). A goal programming model for planning the development of newly reclaimed lands, Journal of Agricultural Systems, 26(4): 245-261.

Nahmias, S. (2005). Production and operations analysis, McGraw-Hill, 5th edition.

Oliveira, F., Volpi, N.M.P. and Sanquetta, C.R. (2003). Goal programming in a planning problem, Journal of Applied Mathematics and Computation, 140(1):165-178.

Riveira, I.S., Magan, M.B., Maseda, R.C. and Barros, D.M. (2008) Algorithm based on simulated annealing for land-use allocation, *Journal of Computers & Geosciences*, 34(3): 259-268.

Sharma D.K., Jana, R.K. and Gaur, A. (2007). Fuzzy goal programming for agriculture land allocation problems, *Journal of Yugoslav Journal of Operations Research*, 17(1): 31-42.

Sharma, D.K. and Jana, R.K. (2009). Fuzzy goal programming based genetic algorithm approach to nutrient management for rice crop planning, *Journal of International Journal of Production Economics*, 121(1): 224-232.

Sheffi, Y. (2005). The resilient enterprise: overcoming vulnerability for competitive advantage. MIT Press.

Simchi-Levi, D., Kaminsky, P. and Simchi-Levi, E. (2004). Managing the supply chain: the de nitiveguide for the business professional, McGraw-Hill.

Thiele, A. (2004). A robust optimization approach to supply chain and revenue management, PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology.

Yeh, C.H. and Labadie, J.W. (2003). Multiobjective planning for agricultural decision: An application, *Journal of Agric.Planning and Manag*, 23: 336-343.

Zeng, X., Kang, S., Li, F., Zhang, L. and Guo, P. (2010). Fuzzy multi-objective linear programming applying to crop area planning, *Journal of Agricultural Water Management*, In Press, Corrected Proof, Available online 16 September , doi:10.1016/j.agwat.